

ปัจจัยของเงื่อนไขการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของการอบแห้งขนุน Effect of Drying Condition on Kinetic and Quality of Jackfruit Drying

สุภวรรณ ฐิระวนิชกุล^{1*}, จุฑารัตน์ ทะสระระ², เฉลิม ปานมา³, รัชนีกร นำชัย⁴ และ ยุทธนา ฐิระวนิชกุล⁵
Supawan Tirawanichakul¹, Jutarut Tasara², Chalerm Parnma³, Ratchaneekorn Numcha⁴, Yutthana Tirawanichakul^{5*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อทดลองอบแห้งขนุนสดด้วยพลังงานความร้อนหลายรูปแบบ (พลังงานแสงอาทิตย์ รังสีอินฟราเรด และรังสีอินฟราเรดร่วมกันลมร้อน) และศึกษาผลของพลังงานความร้อนแบบต่าง ๆ ที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของความชื้นในขนุน ทำการอบแห้งโดยเลือกใช้อุณหภูมิอบแห้ง ในช่วง 50-70°C ที่กำลังรังสีอินฟราเรดคงที่ 1,000 W เทียบกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และทดสอบการซึม ผลจากการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลงเป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้นกับเวลา และพบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่ 70°C จะให้สีของขนุนมีความสว่างต่ำกว่าขนุนที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำกว่า และการทดสอบการซึมพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง 50-70°C ไม่มีผลต่อรสชาติของเนื้อขนุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และผลของแหล่งพลังงานความร้อนต่อกระบวนการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนใช้ระยะเวลาการอบแห้ง น้อยกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดหรือพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียวตามลำดับ

คำสำคัญ: การอบแห้งขนุน พลังงานแบบผสมผสาน พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนจากไฟฟ้ารังสีอินฟราเรด

¹รศ.ดร., ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90112

²นิสิตปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90112

³ครู, โรงเรียนบ้านไสถิน อ.ชะอวด จ.นครศรีธรรมราช 80180

⁴ครู, โรงเรียนสอยดาววิทยา อ.สอยดาว จ.จันทบุรี 22180

⁵รศ.ดร., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90112

*Corresponding author : E-mail : yutthana.t@psu.ac.th Tel. 074-288773

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

Abstract

The objectives of this work are to investigate drying of jackfruit using various heat sources (Solar energy, Infra-red radiation and combined IR and hot air) and to study effect of heat sources on drying kinetics of jackfruit. The drying of jackfruit was carried out with drying temperature ranging between 50 and 70°C at constant infrared power of 1,000 W. The results were comparatively evaluated with conventional solar drying and evaluation of sensory taste in each drying condition was determined. The results showed that drying rate was a non-linear function of drying time while drying using high temperature of 70°C had low brightness compared to each other drying temperature. By sensory evaluation, dried jackfruit with drying temperature ranging of 50-70°C with three different heat sources were insignificant different ($p < 0.05$). Additionally, studying of effect of heat sources on drying processes showed that drying time of jackfruit drying using combined IR and hot air was lower than drying with solely infrared and solar energy, respectively.

Keywords: Jackfruit Drying, Hybrid Energy, Solar, Hot air, Infrared radiation

บทนำ

ขนุน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Artocarpus heterophyllus* Lamk วงศ์ MORACEAE ชื่อพื้นเมืองจะแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นนั้น ๆ ซึ่งแต่ละส่วนของขนุนมีสรรพคุณ เช่น ใบ รสฝาดมัน รักษาหนองเรื้อรัง และใบสดนำมาตำให้ละเอียดอุ่นพอกแผล ราก รสหวานอมขม แก้ท้องร่วง แก้ไข้ แก้ธาตุนี้กำเริบ โลหิตพิการ ฝาดสมานบำรุงกำลัง และบำรุงโลหิต เนื้อหุ้มเมล็ด รสหวานมันหอม บำรุงกำลัง และชูหัวใจให้ชุ่มชื้น และสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น ขนุนอบแห้ง ขนุนในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง นอกจากนี้ยังส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้ การอบแห้งเป็นกรรมวิธีที่สามารถนำมาใช้ถนอมและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและเนื้อสัตว์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วจะมีความชื้นลดลง ทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลง และผลิตภัณฑ์ไม่เน่าเสียง่าย [1-3] ปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการเน่าเสียได้เร็วขึ้น ได้แก่ ปริมาณความชื้นเป็นองค์ประกอบหลัก จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ขนุนอบกรอบตามท้องตลาดพบว่า ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการอบแห้งแล้วนำมาทอด ปัญหาที่ตามมาคือ มีปริมาณน้ำมันที่ตกค้างอยู่ในเนื้อขนุน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนและได้ไม่นาน รวมทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ใช้ในการทอด ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และระยะเวลาในการตากแดดต้องใช้เวลานาน ซึ่งไม่ทันต่อความต้องการของผู้บริโภค และอีกปัญหาก็คือ ด้านภูมิอากาศที่ไม่คงที่ ทำให้ไม่สามารถทำการตากแห้งได้ตลอดเวลา แหล่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมีหลายแบบ เช่น การใช้ลมร้อนจากเครื่องทำความร้อนซึ่งเป็นการอบแห้งแบบการพาความร้อน [4] การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง หรือการอบแห้งแบบการแผ่รังสีความร้อน ได้แก่ การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยคลื่นรังสีอินฟราเรด [5-6] เป็นต้น ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนพลังงานได้เพิ่มมากขึ้น แหล่งทดแทนจึงเป็นที่สนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้ง รวมทั้งมีการปรับปรุงเทคโนโลยีเพิ่มขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยนำมาใช้ในรูปแบบของการผสมผสาน การอบแห้งระบบผสมผสาน [7-8] เป็นวิธีการอบแห้งที่ใช้แหล่งพลังงานตั้งแต่ 2 รูปแบบ ขึ้นไป มาใช้ในกระบวนการอบแห้ง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อน โดยลมร้อนอาจได้มาจากพลังงานเชื้อเพลิงชีวมวลหรือพลังงานไฟฟ้า เพราะการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวอาจมีปัญหาเนื่องจาก 1) พลังงานแสงอาทิตย์มีความไม่สม่ำเสมอ 2) พลังงานความร้อนมีอุณหภูมิสูงไม่เพียงพอแก่ความต้องการ หรือเพื่อต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาผลของการอบแห้งขนุนด้วยแหล่งพลังงานหลายรูปแบบ ได้แก่ การอบแห้งแบบผสมผสาน (ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ร่วมกับพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า) การอบแห้งด้วยลมร้อนจากไฟฟ้าและการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนุน

วิธีการวิจัย

วัสดุ

เนื้อขนุนซื้อจากห้างสรรพสินค้า TESCO LOTUS อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แล้วนำมาหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC [9] นำขนุนหั่นตามขวาง ความหนาประมาณ 2.5+0.05 มิลลิเมตร แล้วนำมาจัดเรียงในถาดอบแห้งเป็นชั้นเดียว

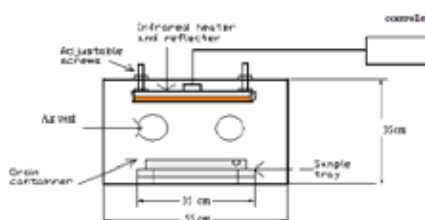
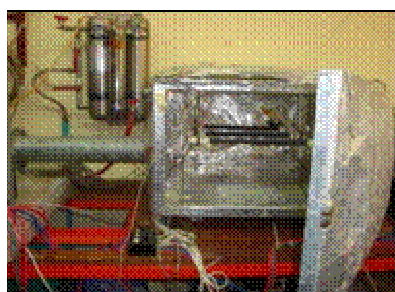
อุปกรณ์ แบ่งเป็น

เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อน และลมร้อนเพียงอย่างเดียว

- 1) ห้องอบแห้ง เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 50x100x25 cm³ ต่อกับเครื่องวัดอุณหภูมิ (Data logger) ความละเอียด $\pm 1^{\circ}\text{C}$ โดยมีเทอร์มิสเตอร์เป็นตัวเซนเซอร์(ภาพที่ 2)
- 2) พัดลม ยี่ห้อ Daichi ขนาด 200 W
- 3) เครื่องทำความร้อน (Heater) แบบครีป ขนาด 1x3 kW
- 4) ถาดที่ใช้ในการอบแห้ง ขนาด 46x94 cm² จำนวน 1 ถาด



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม (พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อน)



ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรด

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

- 1) ห้องอบแห้ง เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด $61 \times 48 \times 53 \text{ cm}^3$ โดยมีเทอร์โมคัปเปิลเปิดต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูลสัญญาณเวลา (Data Logger, Yokokawa model FX100, Japan) ความละเอียด $\pm 1^\circ\text{C}$ โดยมีเทอร์มิสเตอร์เป็นตัวเซนเซอร์ (ภาพที่ 2) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้ง
- 2) ภายในห้องอบแห้งมีหลอดรังสีอินฟราเรด 3 หลอด หลอดละ 500 W ระยะห่างระหว่างหลอดกับวัสดุ 15 cm
- 3) พัดลม ยี่ห้อ DAICHI ขนาด 200 W 0.5 แรงม้า
- 4) ถาดที่ใช้ในการอบแห้ง ขนาด $41.5 \times 47.5 \text{ cm}^2$ จำนวน 1 ถาด

อุปกรณ์อื่น

- 1) เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ YOKOGAWA
- 2) เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Sartorius B3420S
- 3) ตู้อบหาความชื้น ยี่ห้อ Memmert

การหาค่าความชื้นสมดุล

ทำการทดลองหาความชื้นสมดุลของขนุนด้วยวิธีสถิต ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 10-90% โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว ได้แก่ KNO_3 , NaCl , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ LiCl และควบคุมอุณหภูมิด้วยตู้อบให้อยู่ในช่วง $40\text{--}65^\circ\text{C}$

ตารางที่ 1 Mathematical equilibrium moisture content models for jackfruit (ดัดแปลงจาก [1])

Model name	Model	Equation No.
Henderson (1952)	$M_{eq} = \left[\frac{-\ln(1-RH)}{A(T+B)} \right]^{1/c}$	(1)
Oswin (1967)	$M_{eq} = A \left[\frac{RH}{1-RH} \right]^B + C$	(2)
Halsey (1948)	$RH = \exp[(-A/R(T+273.15))M_{eq}^{-B}]$	(3)
BET (Brunauer et al. 1938)	$\ln \frac{RH}{(1-RH)M_{eq}} = \frac{1}{M_m C} + \frac{(C-1)RH}{M_m C}$	(4)

การทดลองอบแห้ง

เรียงขนุนที่สไลด์เป็นชิ้นบาง ๆ เรียงลงบนถาดอบแห้ง แบบชั้นเดียว เต็มทั้งถาด และนำเข้าตู้อบแห้ง โดยใช้สภาวะการทดลองรวมเป็น 4 สภาวะ คือ

สภาวะที่ 1 อบแห้งขนุนโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์

สภาวะที่ 2 อบแห้งขนุนโดยใช้พลังงานผสมผสาน (พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อน) อุณหภูมิอบแห้ง 50-70°C

สภาวะที่ 3 อบแห้งขนุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า อุณหภูมิอบแห้ง 50-70°C

สภาวะที่ 4 อบแห้งขนุนโดยใช้การแผ่รังสีอินฟราเรด กำลังของรังสีอินฟราเรด 1,000 W อุณหภูมิอบแห้ง 50-70°C

ทำการบันทึก น้ำหนักของขนุนกับเวลา อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตู้อบแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และกระเปาะเปียก ในตอนเริ่มต้นการทดลองเก็บข้อมูลทุก 5 นาที ประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นเก็บข้อมูลทุก 20 นาที จนสิ้นสุดการทดลอง กำหนดความชื้นสุดท้าย ประมาณ 10% มาตรฐานแห้ง

การหาค่าจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้น

การคำนวณค่าจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้นของขนุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) ดังนี้ อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) [1]

$$MR = \text{Moisture Ratio} = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (5)$$

เมื่อ M_t คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (% dry-basis), M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ ของวัสดุ (% dry-basis) และ M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ (% dry-basis)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic scale) 1-9 คะแนน (1= ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 25-30 คน คุณลักษณะที่ทำการทดสอบคือ กลิ่น สี ความหวาน เนื้อสัมผัส การยอมรับในการบริโภคของขนุน ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ความชื้นสมดุล

ผลการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของขนุน ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 10-90% แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า ค่าความชื้นสมดุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น และที่ความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกันค่าความชื้นสมดุลจะมีผลคลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าแบบจำลองของ BED สามารถ อธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุดและนำไปใช้ในการอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งในหัวข้อต่อไป

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

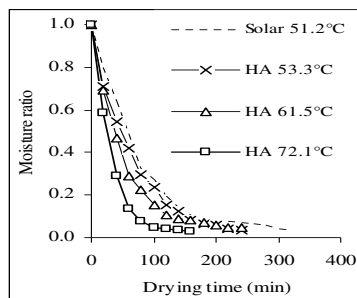
ตารางที่ 2 Coefficient constant of selected equilibrium moisture content models for jackfruit in temperature range 40-65°C

Model name	Constants in model	R ²	RMSE
Halsey	A=16.66 B=-2.316	0.963	0.943
Modified Henderson	A=2.192 B=-303.651 C=2.309	0.960	1.050
Oswin	A=0.135 B=0.310	0.955	1.114
BET	$M_{eq} = 0.0115 + 0.0000165T_{abs}$, $C = 4.9422 - 0.0111T_{abs}$	0.966	0.965

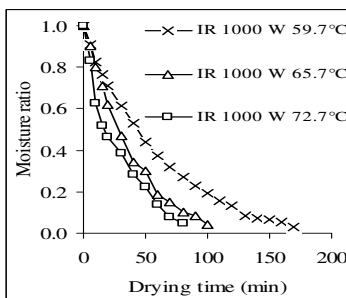
จลนพลศาสตร์การอบแห้งขนุน

การอบแห้งด้วยพลังงานลมร้อนเพียงอย่างเดียว

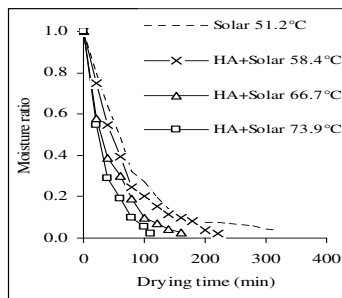
อบแห้งด้วยพลังงานลมร้อนเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิอบแห้ง 53.4-72.1°C เปรียบเทียบกับขนุนควบคุมที่อบแห้งโดยใช้แหล่งพลังงานธรรมชาติ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ มีแนวโน้มของการลดลงของความชื้นที่เวลาต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3(ก) ภาพที่ 3(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นของขนุนกับเวลาการอบแห้งด้วยลมร้อนจากไฟฟ้า พบว่าการอบแห้งขนุนด้วยลมร้อนเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นระยะเวลาในการอบแห้งลดลงโดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้งต่ำสุดคือ ที่อุณหภูมิอบแห้ง 72.1°C เท่ากับ 3 ชั่วโมง 5 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียวและมีการพาความร้อนตามธรรมชาติ จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่นานกว่า โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้งรวม 4 ชั่วโมง



(ก) Hot air (HA) source



(ข) Infrared (IR) source



(ค) Combine HA+IR source

ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของขนุนกับเวลา อบแห้งด้วยลมร้อนจากไฟฟ้า อุณหภูมิอบแห้ง 50-72°C ความเร็วลม 1.01+ 0.2 m/s, อบแห้งขนุนด้วยรังสีอินฟราเรดที่ กำลัง 1,000 W อุณหภูมิอบแห้ง 59-72.7°C ความชื้นเริ่มต้น 300-328% มาตรฐานแห้ง

การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว

อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่กำลัง 1,000 W อุณหภูมิอบแห้ง $59.7-72.7^{\circ}\text{C}$ มีแนวโน้มของการลดลงของความชื้นที่เวลาต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3(ข) พบว่าขนุนที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้ง 59.7°C มีการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งมากที่สุด คือเท่ากับ 1 ชั่วโมง 50 นาที และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการอบแห้งด้วยลมร้อนในช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน พบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าประมาณ 30% เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากไฟฟ้า

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อน ในช่วงอุณหภูมิ $58.7-73.9^{\circ}\text{C}$ มีแนวโน้มของการลดลงของความชื้นที่เวลาต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่า อัตราส่วนความชื้นมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น การลดลงของความชื้นจะเป็นแบบเอกโปเนนเชียลและการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ โดยการอบแห้งขนุนที่อุณหภูมิอบแห้ง 58.4°C มีการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งมากที่สุด เท่ากับ 3 ชั่วโมง 40 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียวและมีการพาความร้อนตามธรรมชาติ จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่นานกว่า โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้งรวม 5 ชั่วโมง 20 นาที

คุณภาพทางกายภาพของขนุน : สี

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนุนภายหลังการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ขนุนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองเด่นชัดที่สุด พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนุนที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนจะให้สีของผลิตภัณฑ์เหลืองสวยที่สุดสอดคล้องกับคะแนนสี ในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ขนุนที่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าความสว่าง(L^*) มากที่สุด และขนุนที่ผ่านการทอดอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์จะมีค่าความแดง(a^*) มากที่สุด และการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE^*)ของขนุนที่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งยาวนานมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการอบแห้งด้วยวิธีอื่น ซึ่งมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมสภาพลง โดยเฉพาะความเหลืองพบว่าสีเหลืองต่ำกว่าการอบแห้งด้วยวิธีการอื่น ๆ กรณีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (1,000 W) ในช่วงอุณหภูมิ $59.7-72.7^{\circ}\text{C}$ และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพสีแล้วพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนุน

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ กลิ่น สี ความหวาน เนื้อสัมผัส (จากการเคี้ยวของผู้ที่ทำการทดสอบ) และความยอมรับในการบริโภคของขนุน พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนุนเป็นที่ยอมรับในการบริโภคทุกสภาวะการทดลอง และมีแนวโน้มการชอบในระดับปานกลาง โดยการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มการชอบในระดับน้อยถึงปานกลาง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ยาวนานกว่าวิธีการอบแห้งแบบอื่น ๆ จึงทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นและรส รวมทั้งเกิดการเสื่อมสภาพของสีทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีซีดจาง คุณลักษณะเนื้อสัมผัสมีค่าต่ำ (คะแนนการประเมินน้อยกว่า 5) เนื่องจากการวางผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งไว้ในสภาพแวดล้อมปิดไม่ได้ใส่ในถุงที่ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นจากอากาศแวดล้อม ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการดูดคืนกลับของความชื้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์เดิมหลังการอบแห้งที่มีความแห้งและกรอบ เริ่มมีความชื้นมากขึ้น รวมทั้งทำให้ผลิตภัณฑ์ขนุนที่นำมา

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

ทดสอบการซึม ไม่มีความกรอบหลงเหลืออยู่ แต่อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบพบว่ายัง คงมีรสชาติความหวานอยู่ (คะแนนการประเมินมากกว่า 6.5) รวมทั้งเนื้อสัมผัสยังมีความนุ่มอยู่ แต่ความกรอบลดลงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งใหม่ๆ (คะแนนการประเมินน้อยกว่า 5) แต่การยอมรับ โดยรวมจากผู้บริโภคยอมรับได้ในระดับการชอบปานกลาง (คะแนนการประเมินอยู่ในช่วง 6.57-7.21)

ตารางที่ 3 Colorness value (CIE lab) of dried jackfruit at various drying conditions

Drying condition	Color of dried products			
	Lightness	Redness	Yellowness	ΔE^*
	(L*)	(a*)	(b*)	
Solar drying				
Avg. temp.51.1°C	73.76 ^e	5.20 ^{ac}	24.37 ^a	30.04 ^e
Hot air drying				
53.3°C	64.17 ^b	12.72 ^{cd}	58.85 ^d	9.69 ^{ab}
61.5°C	68.02 ^c	10.22 ^b	51.10 ^b	6.67 ^a
72.1°C	69.20 ^{cd}	11.59 ^c	54.79 ^c	12.11 ^{bc}
Solar + Hot air drying				
58.7°C	73.91 ^e	9.39 ^b	56.62 ^{cde}	14.60 ^{cd}
66.7°C	72.59 ^{de}	9.60 ^b	59.38 ^e	6.83 ^a
75.2°C	58.48 ^a	14.56 ^e	58.10 ^{cde}	17.08 ^d
Infrared drying at power of 1,000 W				
59.7°C	61.78 ^{ab}	13.55 ^{de}	56.24 ^{cde}	13.94 ^{cd}
65.7°C	59.21 ^a	13.52 ^{de}	55.41 ^{cd}	16.07 ^{cd}
72.7°C	64.18 ^b	13.60 ^{de}	58.81 ^{de}	12.86 ^{bcd}

Mean within the same column with different letters are significantly different at the 95% confidence level.

สรุปผลการวิจัย

สภาวะในการทดลองอบแห้งโดยการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอบแห้งด้วยใช้ลมร้อน พลังงานความร้อนร่วม (ลมร้อนจากเครื่องทำความร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์) และการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเทคนิคของการเลือกใช้แหล่งพลังงานรังสีอินฟราเรดมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งต่ำที่สุด โดยที่ปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้งอย่าง

ชัดเจน และต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งพบว่ารูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางเอมพิริคัลของแบบจำลองแบบ Logarithmic และ Henderson and Pabis สามารถอธิบายผลการทดลองอบแห้งแบบการพาความร้อนด้วยลมร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้ดี ตามลำดับ นอกจากนี้ข้อดีที่พบในการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดกับลมร้อน คือ สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง โดยที่ยังคงรักษาคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์และความยอมรับในการบริโภคของผูบริโภคได้เป็นอย่างดี

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการวิจัยพลังงาน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ. โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณธฤทธิ์. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 335.
- [2] Devahastin, S., Tapaneyasin, R. and Tansakul, A. (2006). Hydrodynamic behavior of a jet spouted bed of shrimp. **Journal of Food Engineering**. 74, 345–351.
- [3] Tapaneyasin, R., Devahastin, S. and Tansakul, A. (2005). Drying methods and quality of shrimp dried in a jet-spouted bed dryer. **Journal of Food Process Engineering**. 28, 35-52.
- [4] Jain, D. (2006). Determination of convective heat and mass transfer coefficients for solar drying of fish. **Biosystem Engineering**. 94 (3), 429–435.
- [5] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา ธนภัทร สุวรรณภู และ สมชาติ โสภณธฤทธิ์. (2549). การอบแห้งเนื้อด้วยรังสีอินฟราเรด. **วิศวกรรมสาร มช.**, ปีที่ 33, ฉบับที่ 2: 169-180.
- [6] Chua, K.J. and Chou, S.K. (2005). A Comparative study between intermittent microwave and infrared drying of bioproducts. **International of Journal of Food Science and Technology**. 40, 23–39.
- [7] Tirawanichakul, S., Prachayawarakorn, S., Varunyanond, W., Tungtrakul, P. and Soponronnarit S. (2004). Effect of fluidized-bed drying temperature on various qualities attributes of paddy. **International of Drying Technology**. 22 (7), 1731-1754.
- [8] Tirawanichakul, Y., Prachayawarakorn, S., Tangtrakul, P., Chaiwatpongsakorn, P. and Soponronnarit, S. (2003). Experiment on in-store paddy drying under tropical climate: simulation and product quality. **International Journal of Drying Technology**. 21 (6), 1049-1065.
- [9] AOAC. 1995. Official Method of Analysis, 16th ed, The Association of Official Analytical Chemists.